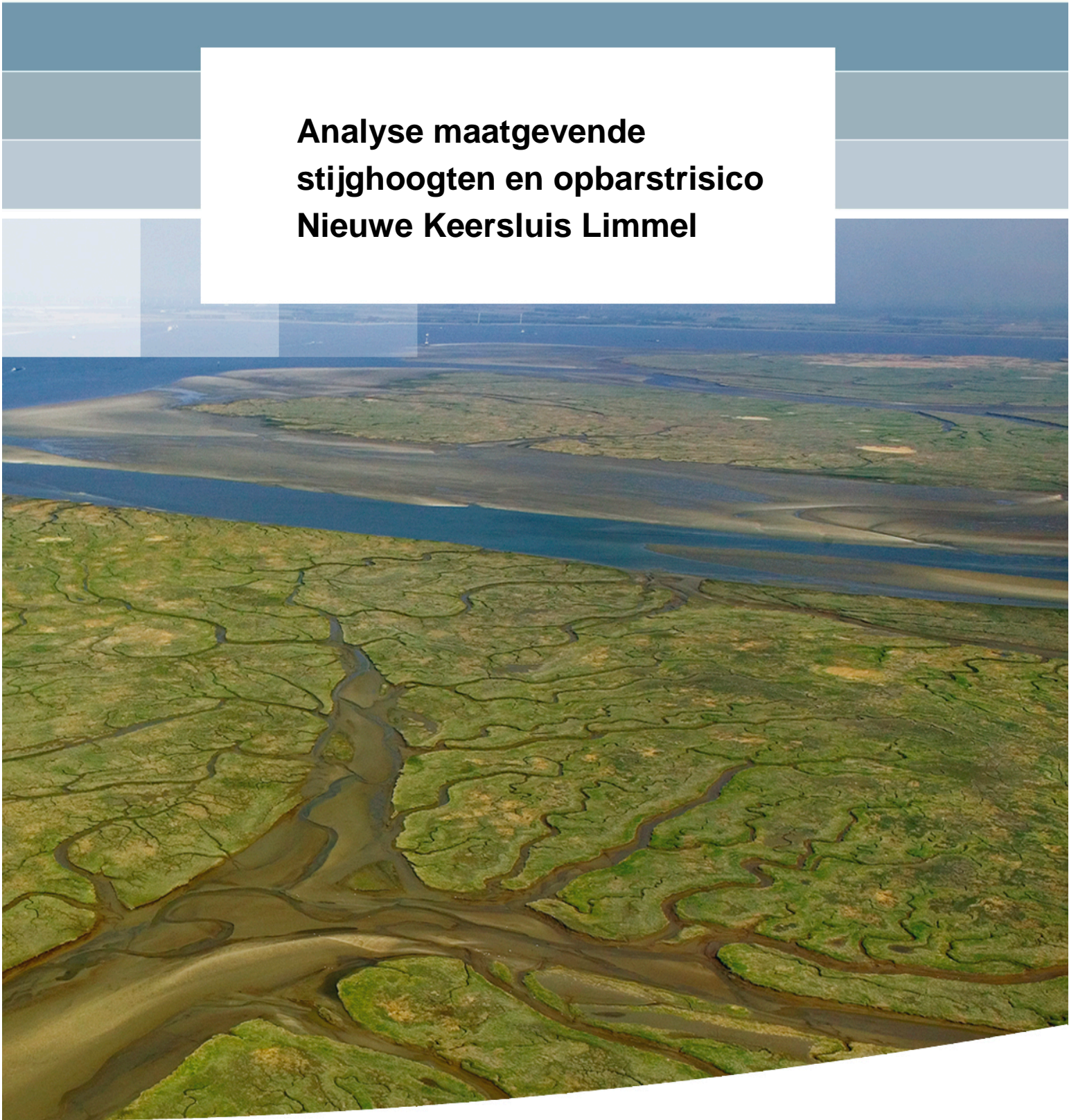


**Analyse maatgevende
stijghoogten en opbarstrisico
Nieuwe Keersluis Limmel**



Analyse maatgevende stijghoogten en opbarstrisico Nieuwe Keersluis Limmel

drs. J.T. Buma
dr.ir. W.J. de Lange

1208399-002

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	Apr. 2015	drs. J.T. Buma		drs. M.P. de Kleine		Dr. H.S. Otter	
		dr.ir. W.J. de Lange					

Status
definitief

Inhoud

1 Aanleiding en vraagstelling	1
2 Beschrijving bestaande situatie	3
2.1 Nieuwe Keersluis Limmel	3
2.2 Bodemopbouw	4
2.3 Hydrologie en geohydrologie	5
2.3.1 Stijghoogte in het Maasgrind	5
2.3.2 Gedrag stijghoogten in diepere grondlagen	9
2.3.3 Kanjelbeek	10
3 Analyse van de kritische situaties	11
3.1 Het maatgevend scenario voor Maashoogwater (a)	11
3.2 T=10 Maaswater en calamiteit Julianakanaal (scenario b)	12
3.3 Verdere overwegingen	13
3.3.1 Opstuwning rond damwandkuip	13
3.3.2 Risico op overmatige grondwatervoeding vanuit diepere grondlagen	13
3.3.3 Invloed Kanjelbeek	14
4 Conclusies	15

1 Aanleiding en vraagstelling

De bestaande schutsluis Limmel bij Maastricht zal tussen 2015 en 2017 worden vervangen door een keersluis. Het huidige voorontwerp van de opdrachtnemer van het werk, Besix, voorziet in een waterdichte damwandkuip rondom de eerste 50 meter Julianakanaal benedenstreams van de nieuwe keersluis. Onder de keersluis is een laag Maasgrind aanwezig, en de damwanden worden volledig door deze grindlaag heen geslagen, tot enkele meters in het onderliggende kalksteen. Doelstelling daarbij is om onderlooptheid, en daarmee lekkage in of uit het Julianakanaal tijdens grote peilverschillen aan weerszijden van de keersluis, tot een minimum te beperken. Aanvullend op de damwanden is in het huidige voorontwerp een waterremmende laag binnen de kuip voorzien met een doorlatendheid van 5×10^{-8} m/s, als bodem van het Julianakanaal¹. In het geval van hoogwater op de Maas en / of een vrijwel leeggepompt Julianakanaal staat er echter een groot verval over de keersluis. Er ontstaat dan mogelijk² een hoge waterdruk onder de waterremmende laag in het Julianakanaal, met kans op opbarsten van deze laag.

Voor een optimaal ontwerp van de waterremmende laag in relatie tot de nieuwe keersluis is inzicht in de te verwachten stijghoogten ter plaatse, onder maatgevende omstandigheden gewenst. Daarom heeft Rijkswaterstaat GPO aan Deltares gevraagd om te bepalen:

(vraag 1) Welke stijghoogten onder de waterremmende laag, benedenstreams van de nieuwe keersluis, kunnen worden verwacht onder maatgevende omstandigheden en gegeven de lokale bodemopbouw?

(vraag 2) Leiden deze maatgevende stijghoogten tot dusdanige opwaartse waterdrukken onder de waterremmende laag dat er een opbarstrisiko ontstaat?

Het projectgebied bestaat uit de eerste 50 meter Julianakanaal benedenstreams (d.w.z. ten noorden) van de nieuwe keersluis, vallende onder het contract Nieuwe Keersluis Limmel.

De vraagstelling dient te worden beantwoord voor de volgende twee door Rijkswaterstaat geformuleerde scenario's voor combinaties van Maasafvoer en Julianakanaalpeil:

- a) Maatgevend hoogwater: een waterstand van NAP+47,04 m op de Maas en NAP+43,60 m op het Julianakanaal. Het verval over de keersluis bedraagt 3,44 m.
- b) Een calamiteit op het Julianakanaal waarbij de waterstand daalt naar NAP+40,0m en een bijbehorende waterstand aan de Maaszijde van NAP+45,40m. Het verval over de keersluis bedraagt 5,40 meter.

¹ Deltares heeft op 6 januari 2015 tijdens een overleg met Rijkswaterstaat-GPO de vraag gesteld in hoeverre deze waterremmende laag wel nodig is, of zelfs gewenst. Het aanbrengen van de waterremmende laag brengt een opbarstrisiko met zich mee dat zonder deze laag minder, of in het geheel niet aan de orde zou zijn. De beoogde functie van de waterremmende laag is het minimaliseren van lekkage uit het Julianakanaal. Het peil van het Julianakanaal is namelijk meestal hoger dan dat van de Maas benedenstreams van Borgharen, behalve bij hoge Maasafvoeren. Deze functie wordt mogelijk al afdoende uitgeoefend door de waterdichte damwanden, mits deze tot voldoende diepte in de kalksteenlaag kunnen worden ingebracht en de kalksteen op die diepte voldoende dicht is. Het minimaliseren van onderlooptheid van de damwanden is dan ook een belangrijk aandachtspunt bij het ontwerp. In dit plan van aanpak wordt er van uit gegaan dat de waterremmende laag wordt aangebracht.

² Indien wordt uitgegaan van een niet-verwaarloosbare onderlooptheid van de damwandkuip.

De beoogde werkwijze bestond aanvankelijk uit drie fasen: een vooronderzoek bestaande uit een grondwatersysteemanalyse, een grondwatermodelstudie, en een rapportage. Uit de grondwatersysteemanalyse is echter gebleken dat voor de keersluis Limmel een grondwatermodelstudie overbodig was.

De opbouw van dit rapport bestaat uit een tweede hoofdstuk waarin op basis van de beschikbare gegevens de grondwatersituatie in het gebied wordt beschreven. Hoofdstuk 3 bevat de analyse van de maatgevende situaties en de prognoses voor de bijbehorende stijghoogten. In hoofdstuk 4 worden de bevindingen uit het onderzoek concluderend samengevat.

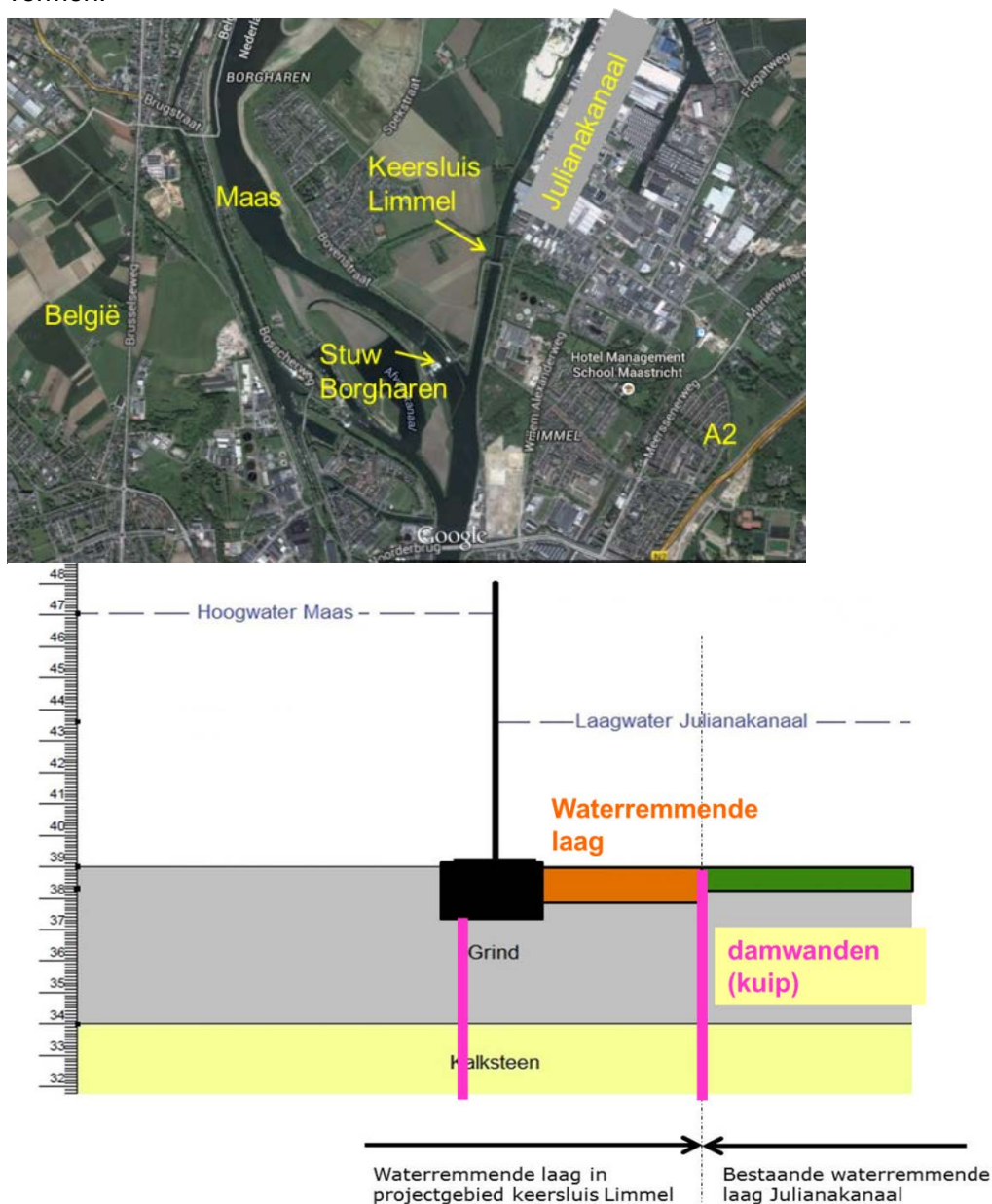
Parallel aan de onderhavige studie naar het opbarstrisico rond de keersluis Limmel, is door Deltares een studie uitgevoerd naar het opbarstrisico in het aansluitende traject van het Julianakanaal van Limmel tot de Bocht van Elsloo³.

³ De resultaten van deze parallele studie worden gerapporteerd in Deltares (2015) *Analyse opbarstrisico Julianakanaal tussen Limmel en Elsloo*. Project nr. 1208399-002. (in voorbereiding)

2 Beschrijving bestaande situatie

2.1 Nieuwe Keersluis Limmel

De voorontwerpsituatie rond de nieuwe keersluis is schematisch weergegeven in Figuur 1. Direct onder de sluis en kanaalbodem is Maasgrind aanwezig. De stijghoogte in deze laag is maatgevend voor de beantwoording van de vragen. Onder het grind bevindt zich een laag kalksteen. Het traject 50 m benedenstrooms van de nieuwe keersluis zal aan vier zijden worden omgeven door damwanden tot in de kalksteen, die zo een waterdichte kuip moeten vormen.



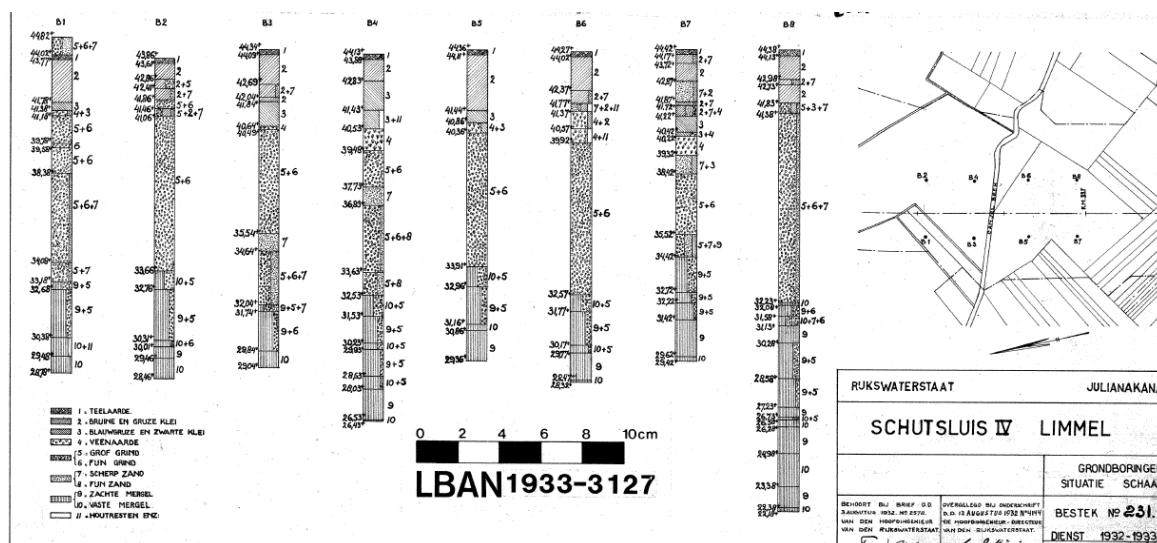
Figuur 1. Voorontwerp situatie rond de nieuwe keersluis Limmel. Bron: Besix / Rijkswaterstaat.

2.2 Bodemopbouw

Er zijn grondonderzoeken rond het sluiscomplex uitgevoerd door Rijkswaterstaat (1933)⁴, Fugro (2012)⁵ en Mos Grondmechanica⁶. In alle onderzoeken wordt een opeenvolging vanaf maaiveld aangetroffen van

- zwak tot sterk zandige leem (Formatie van Beegden, hierna: Beegdenleem);
- matig grof tot zeer grof grind (Formatie van Beegden, hierna: Maasgrind); en
- kalksteen behorend tot de Formatie van Houthem.

De overgang van Beegdenleem naar Maasgrind varieert tussen NAP +38,4 m en NAP +42,0 m.



Figuur 2. Grondonderzoek rond Keersluis Limmel (1933). NB Het overzichtskaartje is in oostzuidoostelijke richting.

Van het Maasgrind is bekend dat dit zeer doorlatend is. In de beschikbare literatuurbronnen^{7, 8} worden doorlatendheidswaarden variërend van tientallen tot meer dan duizend meters per dag vermeld.

De Formatie van Houthem is sterk verweerd, dit blijkt onder meer uit de bijmenging van grind tot enkele meters in de kalksteen (Figuur 2). Daardoor kan het oppervlak veel reliëf hebben en kunnen er tot grote diepte breuken en scheuren vóórkomen. Door Mos Grondmechanica (2014) zijn twee falling head proeven uitgevoerd in de peilfilters in de kalksteenlaag rond NAP +20 m. Hieruit volgden doorlatendheidswaarden van 0,5 en 1,5 m/d. Deze waarden suggereren dat ook op grotere diepte de kalksteen niet als ondoorlatend kan worden beschouwd. Niet aangeboorde breuken of scheuren kunnen bovendien zorgen voor een nog

⁴ Rijkswaterstaat Julianakanaal, Schutsluis IV Limmel (1933), bestek no. 231, LBN 1933-3127.

⁵ Fugro (2012) Project nabij sluiscomplex Limmel te Limmel, Maastricht. Opdrachtnummer 7210-0259-001.

⁶ Mos Grondmechanica (2014) Grondonderzoek t.b.v. Keersluis Limmel, zaaknummer 31084960. Kenmerk R13032-49-HE_2

⁷ Severyns, J., Batelaan, O., De Smedt, F., 2004. Ontwikkeling van regionale modellen ten behoeve van het Vlaams Grondwater Model (VGM) in GMS/MODFLOW – Perceel 2: Het Maasmodel.

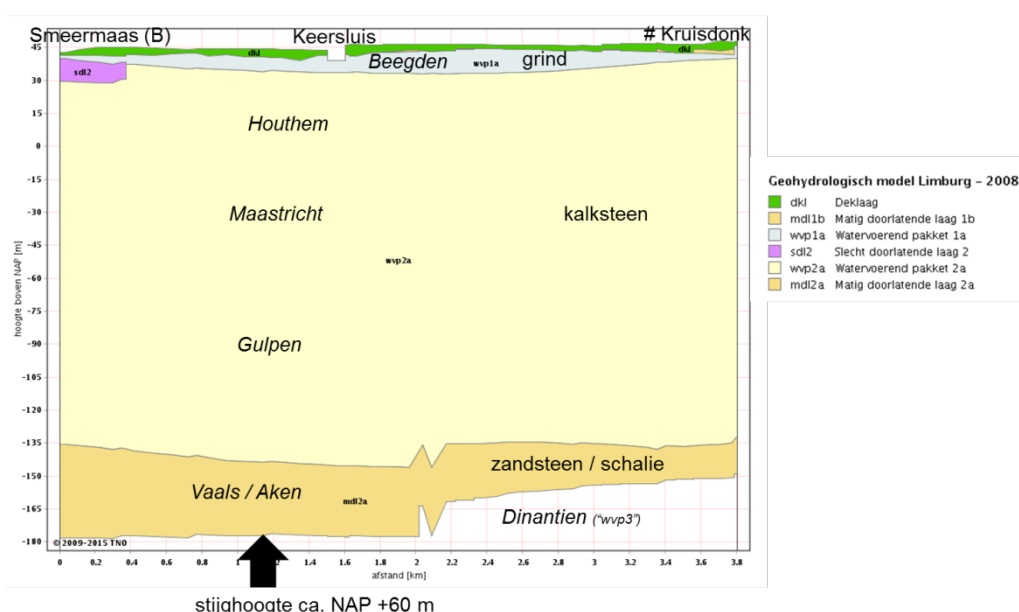
Deelrapport 1: Basisgegevens en conceptueel model. Onderzoeksopdracht voor het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur. Opdrachthouder: Vrije Universiteit Brussel, Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde.

⁸ Vernes, R.W., van Doorn, Th. H. M., 2005. Van gidslaag naar hydrogeologische eenheid – Toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II. TNO-rapport NITG 05-038-B. 105 pp.

grotere secundaire doorlatendheid. Dit is van belang voor het ontwerp van de damwandkuip bij de nieuwe keersluis.

Mogelijk is ter plaatse van de nieuwe keersluis een breukzone of flexuur aanwezig in de kalksteen.

Figuur 3 toont de diepere geohydrologie onder Limmel en omgeving. Onder de kalksteen bevinden zich –doorgaans- verkitte zeezanden uit de Formaties van Vaals en Aken. Hieronder bevindt zich vermoedelijk het Onder-Carboon (Dinantien). In deze afzettingen komt gelaagde kalksteen voor die uit vele verschillende facies bestaat, scheuren bevat, en daardoor sterk doorlatend en watervoerend kan zijn. Het geheel aan watervoerende kalksteenlagen in deze afzettingen kan als 3^e watervoerende pakket worden beschouwd.



Figuur 3. Schematisatie diepere geohydrologie, met Formatienamen cursief, in een doorsnede van Smeermaas (B) naar Knooppunt Kruisdonk (A2xA79). Op basis van REGIS (TNO) en pers. comm. Björn Vink.

2.3 Hydrologie en geohydrologie

2.3.1 Stijghoogte in het Maasgrind

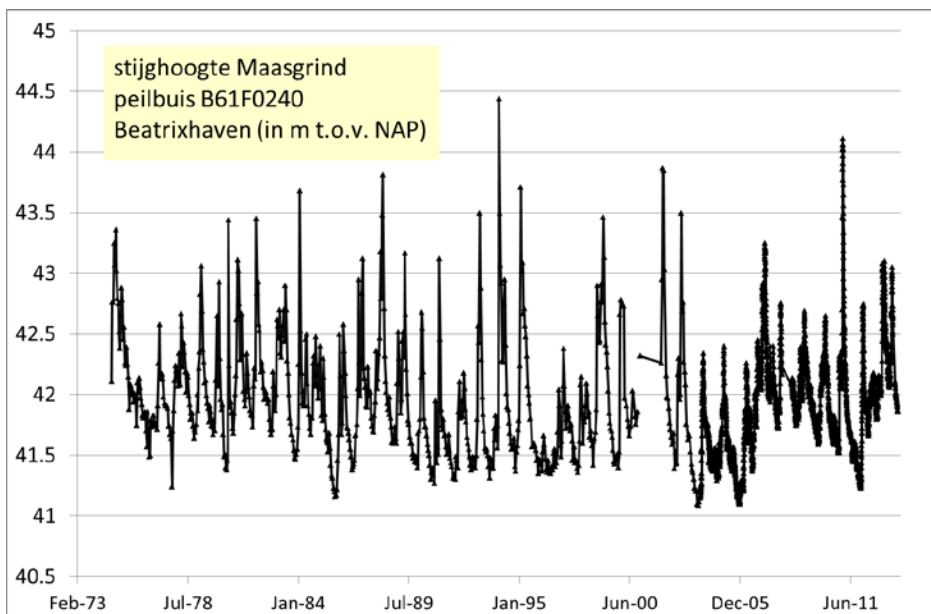
De nabijheid van de Maas is van grote invloed op de waterhuishouding bij de keersluis. Ten zuiden van de keersluis buigt de Maas westwaarts en begint het Julianakanaal als aftakking van de Maas naar het noorden (zie Figuur 1 en Figuur 7). Direct benedenstrooms van de aftakking ligt de stuw Borgharen. Onder regulier Maasregime is de stuw Borgharen gesloten, teneinde het Julianakanaal en de Maas bovenstrooms van voldoende water te voorzien. De keersluis Limmel is dan open. Deze situatie geldt bij waterstanden bij de keersluis Limmel tot NAP +44,15 m en een Maasafvoer van 1300 à 1500 m³/s.

Door Lievense (2014)⁹ is een analyse gemaakt van stijghoogten in het Maasgrind in relatie tot de waterstand in de Maas. Hiertoe zijn de periode 1 augustus 1992 – 31 juli 1993 en de jaren 1996 en 2004 beschouwd. De conclusie van de analyse is dat de Maasstand als gevolg van de hoge doorlatendheid een groot effect heeft op de stijghoogte in het Maasgrind, zowel boven- als benedenstrooms van Borgharen. Met andere woorden een hoge Maasstand

⁹ Lievense (2014) Nieuwe Keersluis Limmel. Kanaalbodem. Documentnummer 146796.

betekent een hoge stijghoogte, maar Lievense constateert ook dat er vertraging- en dempingeffecten in de stijghoogte optreden tijdens de passages van afvoergolven in de Maas.

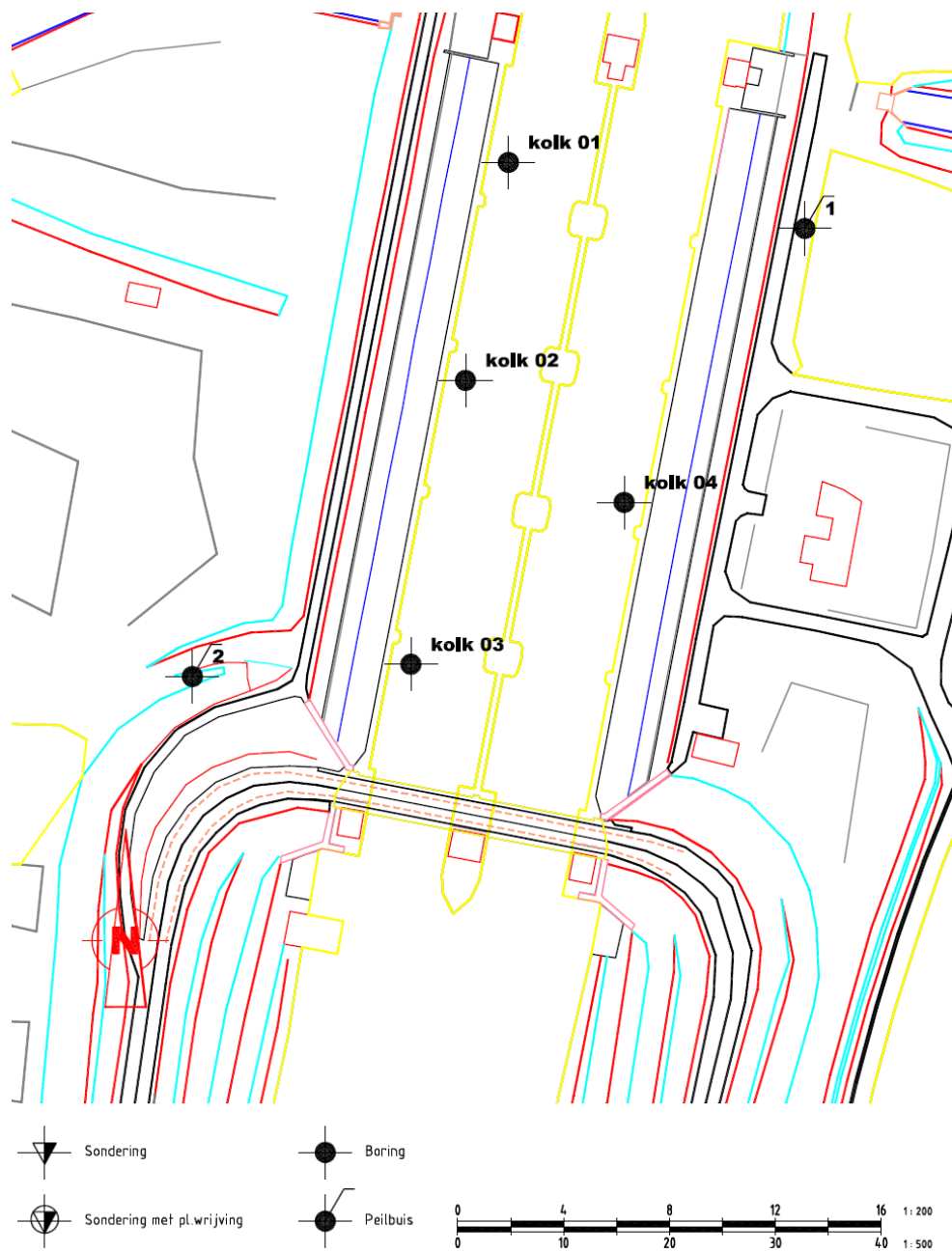
Uit een tijdreeksanalyse van stijghoogtemeetreeksen bij Elsloo is gebleken dat de stijghoogtevariatie in het Maasgrind voor vrijwel 100% verklaard wordt door variaties in het Maaspeil.¹⁰ Een dergelijke tijdreeksanalyse is niet uitgevoerd voor het gebied rond Limmel, maar uit de stijghoogtemeetreeks van een peilbuis in het industriegebied Beatrixhaven blijkt dat ook hier de piekwaarden steeds samenvallen met hoge Maasafvoeren, zoals in december 1993, januari 1995, februari 2002 en januari 2011 (zie figuur 4).



Figuur 4. Stijghoogteverloop in DINO-peilbuis B61F0240, Beatrixhaven. Het filter van deze peilbuis zit tussen NAP +34,6 en +35,6 m in het Maasgrind.

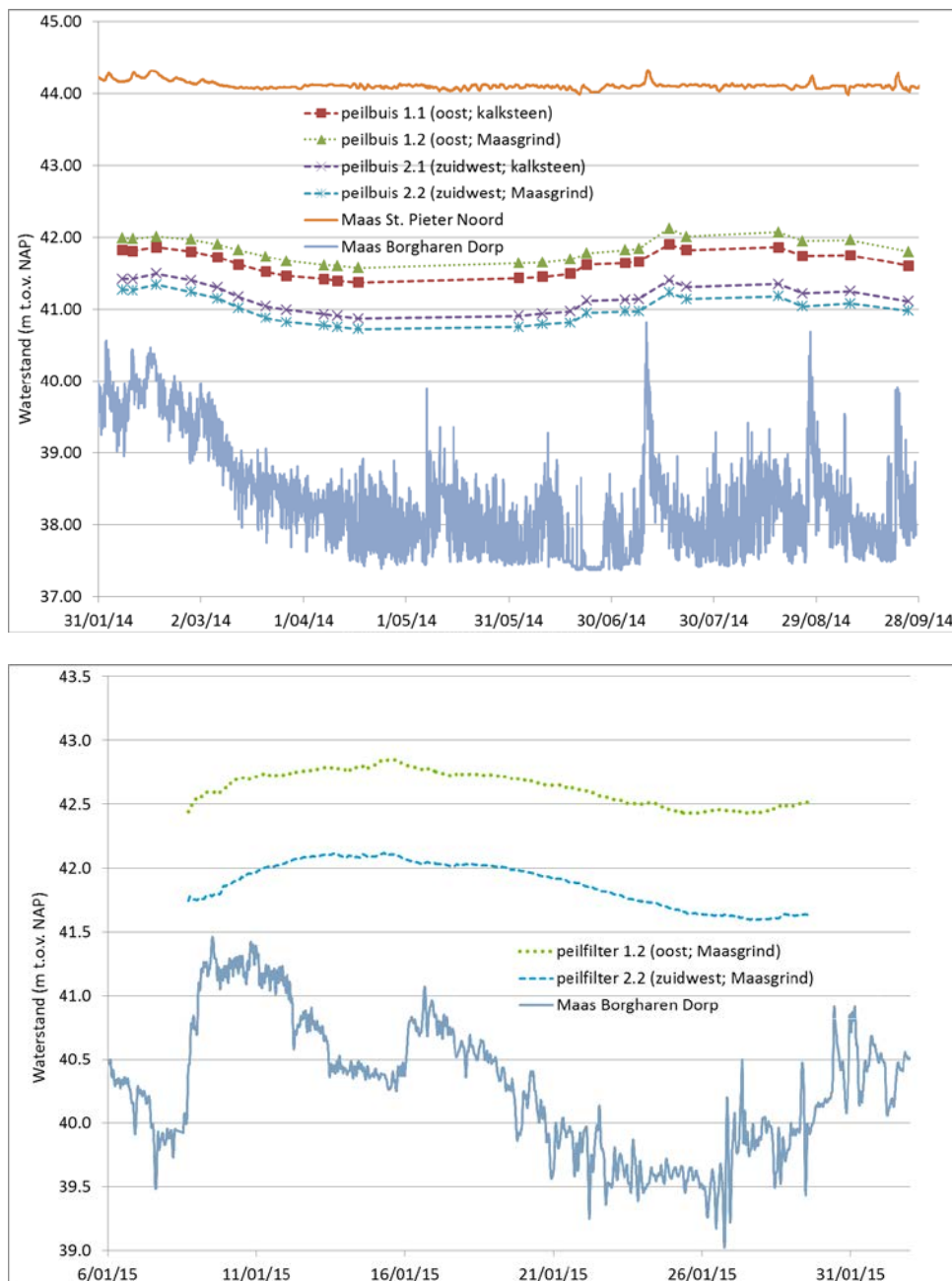
Bij de keersluis zijn begin 2014 twee peilbuizen geplaatst: peilbuis 1 aan de oostzijde en peilbuis 2 aan de zuidwestzijde (zie Figuur 5). Beide peilbuizen hebben elk een ondiep filter in het Maasgrind (ca. NAP +41 m; peilfilters 1.2 en 2.2) en een diep filter in de kalksteen (ca. NAP +20 m; peilfilters 1.1 en 2.1). Tussen februari en oktober 2014 zijn door Mos Grondmechanica handmatige peilingen verricht in deze peilbuizen. In deze periode was het reguliere Maasregime aan de orde. Sinds januari 2015 wordt in beide ondiepe peilfilters de stijghoogte geregistreerd met automatische drukopnemers. De resultaten van de stijghoogtemetingen zijn samen met de Maasstanden weergegeven in Figuur 6

¹⁰ De Vries en Van der Wiel Kust- en Oeverwerken (2014) Verruimen Julianakanaal, Ontwerpnota Waterremmend element, document 4839-TM-ONN-019-B.



Figuur 5. Ligging peilbuizen 1 en 2 bij het keersluiscomplex. Bron: Mos Grondmechanica (2014)¹¹.

¹¹ Mos Grondmechanica (2014) Grondonderzoek t.b.v. Keersluis Limmel (zaaknummer 31084960). Kenmerk 1303249-HE_2.



Figuur 6. Stijghoogtemetingen in peilbuizen 1 en 2 bij de keersluis, door Mos Grondmechanica (boven, 2014) en Deltares (onder, 2015).

- Duidelijk in de bovenste figuur is het verval van de Maas over de (dichte) stuw Borgharen, van NAP +44 m (St. Pieter Noord) naar NAP +37 tot 40 m (Borgharen Dorp). De stijghoogten in het Maasgrind en de kalksteen ter plaatse van de keersluis liggen hier tussenin.
- Zoals vermeld is bij waterstanden tot NAP +44,15 m de keersluis open, en is de waterstand aan de Maaszijde van de keersluis gelijk aan het Julianakanaalpeil, NAP +44 m. Opvallend is dan dat de stijghoogten in het Maasgrind meer dan 2 meter lager zijn. Dit verschil wordt toegeschreven aan een hydraulische weerstand op de bodem van het Julianakanaal ten zuiden van de keersluis. Hierdoor wordt de voeding van het Maasgrind vanuit het kanaal beperkt, en is de drainerende werking door de Maas, benedenstrooms van de stuw Borgharen, dominant. In een onderzoek naar de bodemsamenstelling in dit traject van het Julianakanaal zijn slielagen van 0,1 tot

minimaal 0,4 m dikte aangetroffen¹². In infiltrerende kanaalpannen blijven dergelijke sliblagen na sedimentatie vrijwel altijd liggen. De doorlatendheid van slib is laag; de hydraulische weerstand varieert van 100 tot 10.000 dagen per meter dikte. Dit geeft een verklaring voor het waterstandsverschil.

- De gemeten stijghoogten in het Maasgrind zijn over het algemeen hoger dan de bovenkant van het Maasgrind, zoals aangetroffen in de grondonderzoeken door Mos Grondmechanica en Fugro¹³. Dit betekent dat ook bij een geopende keersluis het Maasgrind ter plaatse van de keersluis reeds zo goed als verzadigd is.
- Tot slot is opvallend dat in de oostelijke peilbuis 1 de stijghoogte in de kalksteen lager is dan in het bovenliggende Maasgrind, terwijl in de westelijker gelegen peilbuis 2 de stijghoogte in de kalksteen juist hoger is dan in het Maasgrind. De meest voor de hand liggende oorzaak hiervoor is de drainerende werking van de Maas, die sterker is in het Maasgrind en de stijghoogte in peilbuis 2.2 het sterkst lijkt te verlagen. Mogelijk speelt ook beïnvloeding door diverse op circa 2 km afstand van de sluis oostelijker gelegen grondwateronttrekkingen een kleine rol, zoals papierfabriek Favini, WML en tot januari 2015 de A2-bouwput in Oost-Maastricht¹⁴.
- De verschillen in stijghoogte tussen enerzijds de filters in het Maasgrind en anderzijds de filters in de kalksteen worden veroorzaakt door lagen met enige verticale weerstand. Uit de boorbeschrijvingen valt op te maken dat hier "hardgrounds" in de kalksteen aanwezig zijn, alsmede plaatselijk een enkele meters dikke kleilaag (mogelijk Formatie van Tongeren) tussen Maasgrind en kalksteen. De "hardgrounds" zijn horizontaal georiënteerde lagen, waarvan een aantal wijdverbreid zijn met een hogere dichtheid en hogere sterkte die aanmerkelijk minder poreus zijn. Kalksteen is anisotroop.

2.3.2 Gedrag stijghoogten in diepere grondlagen

In de omgeving van de keersluis zijn verder geen gegevens over de stijghoogte in de kalksteenformaties, de Formaties van Aken en Vaals en het onderliggende Dinantien beschikbaar. In het kader van de eerder genoemde opbarststudie Julianakanaal is het regionale grondwatermodel IBRAHYM 2.0 verfijnd, gedetailleerd en opnieuw gecalibreerd. Dit model bestaat uit 19 modellagen met de Formatie van Aken als basis. Elke laag representeert een deel van de watervoerend pakketten uit Figuur 3; rondom Limmel is modellaag 3 het Maasgrind. Met dit lokale model zijn stijghoogten berekend voor alle modellagen. Tabel 1 toont deze stijghoogten voor 14 januari 2011. Op dat moment passeerde een hoogwatergolf op de Maas met een piekwaterstand van NAP +46,98 m bij Sint Pieter Noord en NAP +45,33 m bij Borgharen. De ter plaatse van de keersluis berekende stijghoogten blijken geleidelijk af te nemen met de diepte (Tabel 1). Hierbij moet worden aangetekend dat uit de parallelle studie naar het opbarstrisico in het Julianakanaal tussen Limmel en Elsloo is gebleken dat het basismodel van IBRAHYM 2.0 de stijghoogte in het Maasgrind onderschat, met name tijdens afvoerpieken. Stijghoogteverschillen zijn echter meestal minder gevoelig voor modelfouten dan absolute stijghoogtewaarden. De afnemende stijghoogtetrend met toenemende diepte geeft dan ook voldoende vertrouwen dat er geen risico van overdruk uit diepere grondlagen verwacht hoeft te worden.

¹² Op basis van onderzoek De Vries en Van de Wiel (2014). Details op tekeningen SUR-4839-A-140122-TDA-Grindproblematiek.

¹³ Fugro (2012) Rapport betreffende Project nabij sluiscomplex Limmel te Limmel, Maastricht. Opdrachtnummer 7210-0259-001.

¹⁴ Pers. comm. B. Vink (Grontmij), maart 2015

Tabel 1. Stijghoogten berekend ter plaatse van de keersluis Limmel met een lokale, gehercalibreerde verfijning van het regionale grondwatermodel IBRAHYM 2.0.

Modellaag IBRAHYM 2.0	Berekende stijghoogte ter plaatse van Keersluis Limmel (m t.o.v. NAP)
1	42,5
2	42,1
3 (Maasgrind)	42,1
4	42,1
5	42,1
6	42,1
7	42,1
8	42,1
9	42,0
10	41,5
11	40,8
12	40,9
13	40,9
14	40,9
15	40,9
16	40,9
17	40,8
18	40,8
19	40,8

Op grotere diepte dan binnen het bereik van het IBRAHYM-model bevindt zich het eerder genoemde Onder-Carboon (Dinantien). De stijghoogte in dit kalksteenpakket nabij de nieuwe keersluis wordt ingeschat op 58 tot 60m +NAP.¹⁵

2.3.3 Kanjelbeek

De van oost naar west afstromende Kanjelbeek wordt ter plaatse van de keersluis Limmel onder het Julianakanaal doorgeleid. Kort daarna splitst de beek in de Nieuwe en Oude Kanjel. De bedding van de Kanjelbeek ligt overwegend in de bovenste leemlaag, maar snijdt lokaal het Maasgrind aan. Bij lage en gemiddelde Maasafvoeren zijgt een deel van het Kanjelwater weg in de bodem. Om toch voldoende water in het gebied te hebben wordt de Kanjel deels gevoed vanuit de Geul via een watermolen nabij Meerssen. Bij hoge Maasafvoeren en stijghoogten in het Maasgrind kan de Kanjelbeek lokaal een drainerende werking op het Maasgrind hebben. In het nader onderzoek van de lokale situatie zal de Kanjelbeek worden opgenomen. Diverse greppels takken aan op de Kanjel. In de landgoederenzone ten oosten van de sluis heeft de deklaag lokaal een ander regime dan het Maasgrind en de kalksteen. De deklaag varieert hier van 0 tot 4m dikte en bevat lokaal hangwater.

¹⁵ Pers. comm. B. Vink (Grontmij), maart 2015

3 Analyse van de kritische situaties

3.1 Het maatgevend scenario voor Maashoogwater (a)

In het maatgevende scenario voor Maashoogwater bereikt de waterstand bij de keersluis Maaszijde een niveau van NAP +47,04 m, bij een minimaal Julianakanaalpeil van NAP +43,60 m. Voor deze situatie zijn geen stijghoogtemetingen beschikbaar. Indien de eerder beschreven damwandkuip rondom de eerste 50 m benedenstrooms van de nieuwe keersluis daadwerkelijk en volledig waterdicht is, zal er geen Maaswater in de kuip terechtkomen en zal zich geen overdruk onder de sluisbodem opbouwen. Realistisch is echter om uit te gaan van een dusdanig lekdebiet, als gevolg van onderloopsheid en lek van de damwanden, dat de stijghoogte onder de waterremmende laag de Maaswaterstand binnen enkele dagen volgt. Onderloopsheid is realistisch, gelet op de eerder beschreven doorlatendheden dieper in de kalksteen en de onbekendheid met de verweringsgraad van de bovenste meters kalksteen. Bij een waterstand van NAP +47,04 m, keersluis Maaszijde, staat de stuw Borgharen volledig open. Waar onder regulier Maasregime een groot verval over de stuw aanwezig is, is deze tijdens Maashoogwater niet aan de orde. De waterstand direct benedenstrooms van de stuw zal daarom maar weinig lager zijn dan NAP +47,04 m, en de drainerende werking door de Maas op de stijghoogten bij de keersluis verandert in een voedende werking (Figuur 7). De stijghoogte in het Maasgrind zal als gevolg van de hoge doorlatendheid snel toenemen. Bij het te beschouwen Maashoogwater zal de bijbehorende afvoergolf meer dan een week aanhouden, en als gevolg daarvan zal het grindpakket van Maas tot keersluis volledig kunnen verzadigen. Bovendien zal er inundatie optreden van de uiterwaarden tussen Maas en westelijke Julianakanaaldijk. Het inundatieniveau aan de voet van de dijk ter plaatse van de keersluis is dan NAP +45,5 m, volgens berekeningen met het Referentie-Plusmodel voor de Limburgse Maas¹⁶ en dat is lager dan de eerder genoemde Maaswaterstand

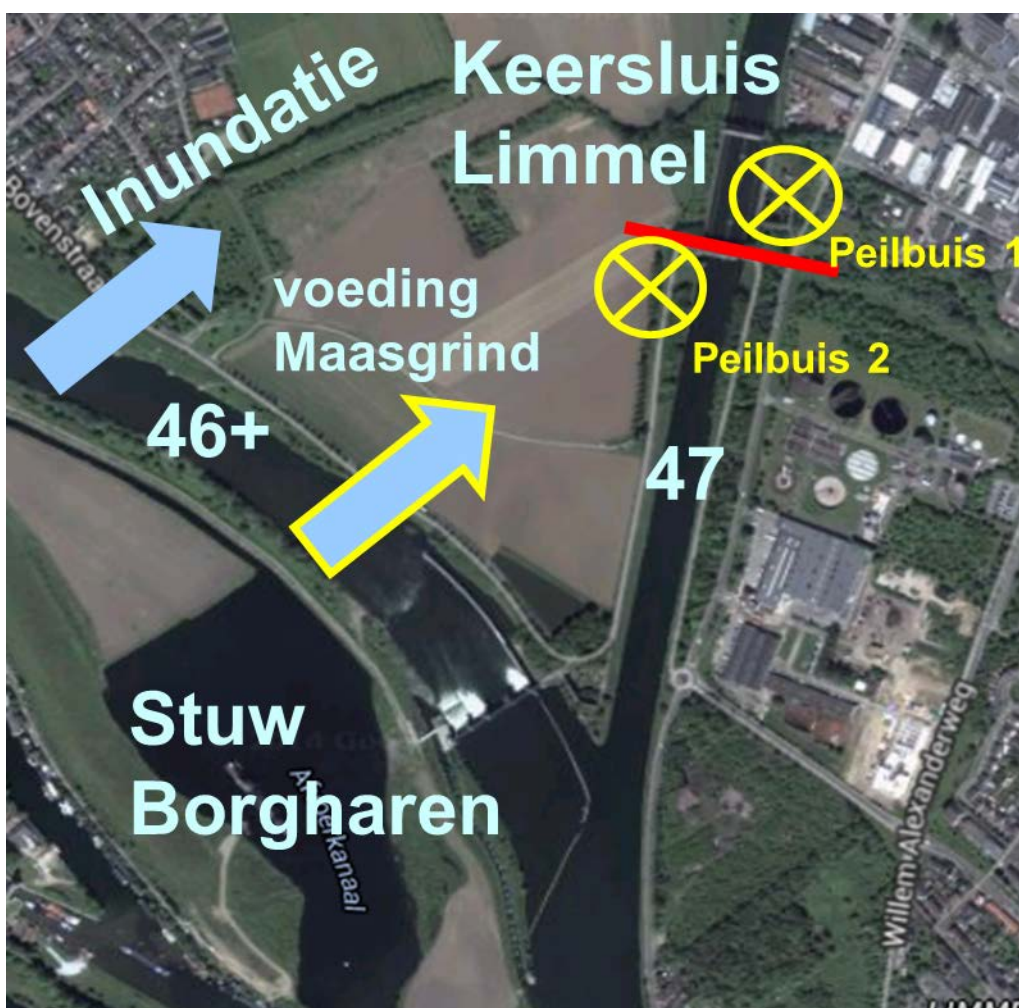
Door Rijkswaterstaat is bovendien aangegeven dat er niet van uit mag worden gegaan dat de in paragraaf 2.3.1. beschreven sliblaag in het Julianakanaal ten zuiden van de keersluis altijd zal blijven liggen. Er moet rekening mee worden gehouden dat dit slib vroeg of laat weggebaggerd zal worden. De nu aanwezige hydraulische weerstand verdwijnt dan samen met het slib, en ook directe voeding van het Maasgrind onder de keersluis wordt dan relevant.

Samengevat zal voor het ontwerp moeten worden uitgegaan van een stijghoogte in het Maasgrind, ter plaatse van de keersluis en de damwandkuip, die gelijk is aan de buitenwaterstand van NAP +47,04 m, direct aan de andere kant (Maaszijde) van de keersluis. Het inzetten van een lokaal grondwatermodel om deze stijghoogte nader te bepalen biedt geen meerwaarde. Als gevolg van grote lokale onzekerheden rond inundatieprocessen, doorlatendheden van de oppervlakkige leem, het Maasgrind en de onderliggende kalksteen, uittreeweerstanden van Maas en Julianakanaal, initiële condities, etc., zal geen andere ontwerpwaarde uit de modelresultaten kunnen worden afgeleid.

Als de damwandkuip ook een waterkerende functie moet hebben, moet voor de bovenkant van de damwand ook worden uitgegaan van minimaal NAP +47,04 m (uitgezonderd de benedenstroomse damwand dwars onder het kanaal). Deze rapportage overziet echter niet alle factoren die van belang kunnen zijn voor de hoogte van de bovenkant van de damwand. Mogelijk zijn andere factoren doorslaggevend en is een afwijkende hoogte van de bovenkant van de damwand te prefereren.

¹⁶ Meijer, D.G., 2014: Hoogwatermodellering Voorkeursstrategie Deltaprogramma Maasvallei (fase 2), opdrachtgever: Provincie Limburg, 22 juli 2014, ARCADIS, AHA, Riquet en Kragten

Door Lievense (2014) wordt op basis van stijghoogte- en Maaswaterstandsmetingen geconstateerd dat de stijghoogte in het Maasgrind de Maasstand tijdens de beschouwde afvoergolven niet één op één volgt; er is sprake van demping van het Maassignaal. Lievense signaleert daarbij wel dat dit verschil soms kleiner is, en “dat het verstandig lijkt om [...] uit te gaan van een grondwaterstand welke gelijk is aan de waterstand in de Maas”. Waarschijnlijk is bij de door Lievense geanalyseerde afvoergolf van januari 1993, die minder extreem en korter was dan de afvoergolf van scenario (a), geen sprake geweest van volledige verzadiging van het Maasgrind of inundatie van de uiterwaarden. Deze situatie kan dan ook niet als representatief worden genomen voor het maatgevend scenario voor Maashoogwater, waarin het Maasgrind wel volledig verzadigd raakt.



Figuur 7. Waterstanden (benadering) bij hoogwater op de Maas, scenario a.

3.2 T=10 Maaswater en calamiteit Julianakanaal (scenario b)

In het maatgevende scenario b bereikt de waterstand bij de keersluis Maaszijde een niveau van NAP +45,40 m, bij een Julianakanaalpeil van NAP +40 m. Ook bij deze waterstand staat de stuw Borgharen volledig open en is er een voedende werking van het Maasgrind door de Maas. Het verschil met scenario (a) is dat er geen inundatie optreedt in de uiterwaarden tussen Borgharen en Limmel. Bovendien is niet zeker of het Maasgrind van Maas tot keersluis volledig verzadigd zal raken. Dit zal afhangen van de lengte en vorm van de afvoergolf, en de initiële stijghoogtecondities in het Maasgrind.

Voor een veilige benadering mag ook hier niet worden gerekend op blijvende aanwezigheid van de sliblaag in het Julianakanaal ten zuiden van de keersluis. In dit scenario moet derhalve worden gerekend met directe voeding van het Maasgrind onder de keersluis vanuit het Julianakanaal.

Samengevat zal voor het ontwerp moeten worden uitgegaan van een stijghoogte in het Maasgrind, ter plaatse van de keersluis en de damwandkuip, die gelijk is aan de buitenwaterstand van NAP +45,40 m, direct aan de andere kant (Maaszijde) van de keersluis. Ten aanzien van de inzet van een grondwatermodel gelden dezelfde overwegingen als genoemd in paragraaf 3.1.

3.3 Verdere overwegingen

3.3.1 Opstuwing rond damwandkuip

Door Rijkswaterstaat is de vraag gesteld in hoeverre er sprake kan zijn van een risico van opstuwing van de stijghoogte als gevolg van de damwandkuip. De damwanden blokkeren weliswaar de volledige hoogte van het Maasgrindpakket, maar het blokkerende oppervlak is beperkt tot circa 50 meter (de lengte van het traject) maal de dikte van het Maasgrind, maximaal 500 m². Gelet op de hoge doorlatendheid van het Maasgrind is de verwachting dat het grondwater zonder noemenswaardige opstuwing om het object heen kan stromen. Met andere woorden, overall rondom de damwandkuip moet er van uit worden gegaan dat de eerder genoemde stijghoogte van NAP +45,40 m heerst. Als illustratie kan dienen een weerstand langs een stroombaan die om de constructie heen gaat: over een lengte van 50m+20m=70m met een doorlatendheid van 100m/d is de weerstand kleiner dan 1 dag. De verlenging van de stroombaan is ook klein ten opzichte van de gehele lengte in de grindbedding.

3.3.2 Risico op overmatige grondwatervoeding vanuit diepere grondlagen

Ook is de vraag gesteld in hoeverre voeding van grondwater vanuit diepere grondlagen een (aanvullend) risico kan vormen voor de waterremmende laag. Hiermee wordt niet het risico van onderloopsheid van de beoogde damwandschermen bedoeld¹⁷, maar natuurlijke voeding door kwel vanuit diepere kalksteenlagen of het Dinantien (zie Figuur 3).

Op grond van de resultaten in Tabel 1, berekend met de lokale, gehercalibreerde verfijning van het IBRAHYM 2.0 grondwatermodel, kan worden geconcludeerd dat tijdens een afvoergolfpassage de stijghoogte geleidelijk lager wordt met toenemende diepte. Dit betekent dat de waterstand in de Maas de doorslaggevende factor is voor de stijghoogte onder maatgevende omstandigheden. Dit wordt bevestigd door de in paragraaf 2.3.1. beschreven analyses van stijghoogtemeetreeksen, die laten zien dat de stijghoogtevariëaties in het Maasgrind voor een zeer groot deel worden bepaald door variëaties in het Maaspeil. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat voeding vanuit diepere grondlagen geen factor van betekenis is.

Ondanks de forse overdruk van de stijghoogte in het Onder-Carboon (NAP +58 à 60 m) ten opzichte van het maaiveld, vormt dit geen risico voor de waterremmende laag van de nieuwe keersluis. De direct boven het Onder-Carboon liggende Formaties, met name die van Vaals en Aken, hebben namelijk een forse verticale weerstand¹⁸.

¹⁷ Het risico op onderloopsheid vergt nader lokaal onderzoek naar de eigenschappen van de kalksteen en wordt niet in dit rapport behandeld.

¹⁸ Pers. comm. B. Vink (Grontmij), maart 2015

3.3.3 Invloed Kanjelbeek

In geval van een Maashoogwater tot NAP +47,04 met inundatie aan de westzijde van de keersluis, zal de Kanjelbeekbedding daar volledig overstroomd worden. In theorie kan dan via de onderdoorgang onder het Julianakanaal kortsluitstroming plaatsvinden naar de Kanjelbedding aan de oostzijde van het kanaal, met een inundatierisico aldaar tot gevolg. Er wordt echter van uitgegaan dat er in de praktijk al maatregelen in deze constructie zijn getroffen om dit te voorkomen.

Verder bestaat er in theorie een opbarstrisico en een risico op hoge kwelfluxen naar de Kanjelbeekbedding aan de oostzijde, bij hoge stijghoogten in het onderliggende Maasgrind. Dit is afhankelijk van de lokale bodemopbouw (wel / geen insnijding tot het Maasgrind). Niet bekend is of dit risico reëel is en hoe een eventuele verhoogde kwelflux zich verhoudt tot de afvoercapaciteit van de Kanjelbeek.

4 Conclusies

Onderstaand worden de onderzoeksvragen, zoals geformuleerd in de inleiding van dit rapport, beantwoord.

(vraag 1) Welke stijghoogten onder de waterremmende laag, benedenstrooms van de nieuwe keersluis, kunnen worden verwacht onder maatgevende omstandigheden en gegeven de lokale bodemopbouw ?

(antwoord 1a) Bij een waterstand van NAP+47,04 m op de Maas en NAP+43,60m op het Julianakanaal, zal voor het ontwerp moeten worden uitgegaan van een stijghoogte in het Maasgrind, ter plaatse van de keersluis en de damwandkuip, die gelijk is aan de buitenwaterstand van NAP +47,04 m. Dit als gevolg van directe voeding en volledige verzadiging van het Maasgrind vanuit de Maas tijdens de bijbehorende afvoergolf.

(antwoord 1b) Bij een waterstand van NAP+45,40 m op de Maas en NAP+40,00 m op het Julianakanaal moet voor het ontwerp worden uitgegaan van een stijghoogte in het Maasgrind, ter plaatse van de keersluis en de damwandkuip, die gelijk is aan de buitenwaterstand van NAP +45,40 m.

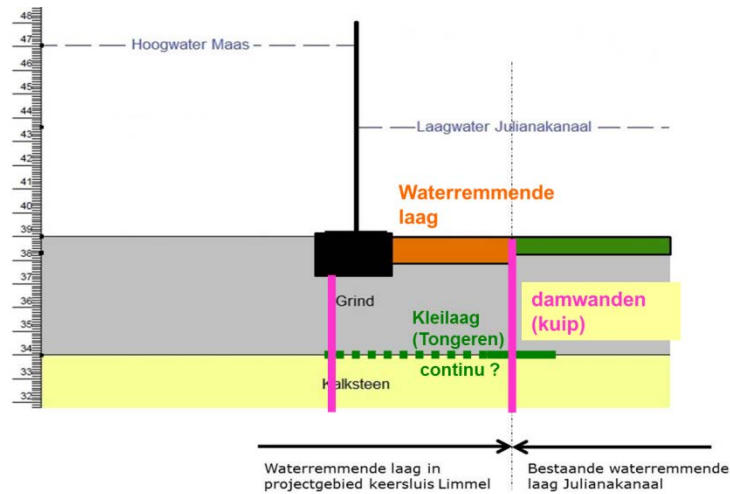
In beide gevallen mag voor een veilige benadering niet gerekend worden op blijvende aanwezigheid van de sliblaag in het Julianakanaal ten zuiden van de keersluis.

Voor beide scenario's geldt dat de antwoorden op onderzoeksvraag 1 conservatief ingestoken zijn, gebaseerd op de informatie die ter beschikking stond. Om tot een minder conservatief ontwerp te komen is naar onze mening zeer veel lokaal onderzoek nodig naar inundatieprocessen, doorlatendheden van de oppervlakkige leem, het Maasgrind en de onderliggende kalksteen, uittreeweerstand van Maas en Julianakanaal, initiële condities, etc.. En dan nog is de verwachting dat de resterende bandbreedte, als gevolg van lokale variatie en complexe bodemopbouw, dusdanig groot is dat geen andere ontwerpwaarden zullen kunnen worden afgeleid dan de hier gerapporteerde waarden.

(vraag 2) Leiden deze maatgevende stijghoogten tot dusdanige opwaartse waterdrukken onder de waterremmende laag dat er een opbarstrisico ontstaat

- Indien daadwerkelijk een waterremmende laag wordt aangelegd moet worden uitgegaan van een opwaartse druk van maximaal 5,40 m. Dit betekent een groot opbarstrisico als hier niet uitdrukkelijk rekening mee wordt gehouden in het ontwerp van deze waterremmende laag en/of de damwandconstructie.
- Uit grondonderzoek is gebleken dat plaatselijk een enkele meters dikke laag klei voorkomt onder het Maasgrind (Figuur 8). Dit is mogelijk gunstig voor het ontwerp, omdat deze laag het risico van onderloopsheid verlaagt en daarmee de doorwerking van de buitenwaterstand tot in de damwandkuip vertraagt en dempt. Dit geldt evenwel alleen als deze kleilaag continu is. Verder grondonderzoek zal hierover op korte termijn uitsluitel geven. Een aanbeveling hierbij is dat bij toekomstig geotechnisch onderzoek voor de constructie van keersluis Limmel ook net buiten het projectperceel (kuip) onderzoek verricht moet worden. Om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de dikte van de kleilaag onder het Maasgrind en eventuele nabijheid van een breukzone dient de kalksteen minimaal 5 meter doorboord te worden aan de zuidzijde en net buiten de

noordzijde van de projectgrens. Daarnaast kan geofysisch onderzoek bijdragen aan een beter inzicht in de mate van verwerking van de kalksteen, en het vóórkomen van breuken en scheuren.



Figuur 8. Mogelijk voorkomen van kleilaag (Formatie van Tongeren) in de ondergrond bij de keersluis.

- Voor het aangrenzende deel van het Julianakanaal geldt dat de huidige kanaalbodem (lang) niet voldoende gewicht biedt om de opwaartse druk onder maatgevende omstandigheden te weerstaan. Er is sprake van een reëel opbarstrisico. Het is aannemelijk dat in het verleden al opbarstingen hebben plaatsgevonden. Dit wordt ook gesuggereerd door de lage kanaalbodemweerstand die uit de modellering in de parallel lopende opbarststudie Julianakanaal is gebleken. Dit geldt voor een kanaaltraject dat zich mogelijk uitstrekt tot de Bocht van Elsloo.